

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

30.06.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 7月 24日

REC'D 19 AUG 2004
WiPO
PCT

出願番号
Application Number: 特願 2003-201079

[ST. 10/C]: [JP 2003-201079]

出願人
Applicant(s): 株式会社ニコン

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 8月 6日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川

洋

【書類名】 特許願

【整理番号】 03-00960

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン
内

【氏名】 谷津 修

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン
内

【氏名】 田中 裕久

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン
内

【氏名】 村松 研一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン
内

【氏名】 小峯 典男

【特許出願人】

【識別番号】 000004112

【氏名又は名称】 株式会社ニコン

【代理人】

【識別番号】 100095256

【弁理士】

【氏名又は名称】 山口 孝雄

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-351186

【出願日】 平成14年12月 3日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 033020

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9302511

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 照明光学装置、露光装置および露光方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 直線偏光の光を供給する光源部を有し、該光源部からの光で被照射面を照明する照明光学装置において、

前記光源部と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記被照射面を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えるための偏光状態切換手段を備えていることを特徴とする照明光学装置。

【請求項 2】 前記偏光状態切換手段は、前記被照射面を照明する光の偏光状態が直線偏光状態である場合に、直線偏光の偏光面を可変とすることを特徴とする請求項 1 に記載の照明光学装置。

【請求項 3】 前記偏光状態切換手段は、入射する直線偏光の光の偏光面を必要に応じて変化させるための位相部材と、入射する直線偏光の光を必要に応じて非偏光化するためのデポラライザとを有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の照明光学装置。

【請求項 4】 前記位相部材は、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された 1/2 波長板を有することを特徴とする請求項 3 に記載の照明光学装置。

【請求項 5】 前記デポラライザは、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された水晶プリズムを有することを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の照明光学装置。

【請求項 6】 前記デポラライザは、照明光路に対して挿脱自在に構成された水晶プリズムを有することを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の照明光学装置。

【請求項 7】 前記デポラライザは、照明光路中に固定的に位置決めされた水晶プリズムを有することを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の照明光学装置。

【請求項 8】 前記デポラライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に

反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏光ビームスプリッターへ戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは前記照明光学装置の光軸を中心として一体的に回転自在に構成されていることを特徴とする請求項3または4に記載の照明光学装置。

【請求項9】 前記デポラライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏光ビームスプリッターへ戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは照明光路に対して一体的に挿脱自在に構成されていることを特徴とする請求項3または4に記載の照明光学装置。

【請求項10】 前記デポラライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏光ビームスプリッターへ戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは照明光路中に固定的に位置決めされていることを特徴とする請求項3または4に記載の照明光学装置。

【請求項11】 前記偏光状態切換手段は、入射する直線偏光の光を必要に応じて非偏光化するためのデポラライザを有することを特徴とする請求項1または2に記載の照明光学装置。

【請求項12】 前記デポラライザは、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された水晶プリズムを有することを特徴とする請求項11に記載の照明光学装置。

【請求項13】 前記デポラライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏光ビームスプリッターへ

戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは前記照明光学装置の光軸を中心として一体的に回転自在に構成されていることを特徴とする請求項 1 1 に記載の照明光学装置。

【請求項 1 4】 前記偏光状態切換手段は、入射する楕円偏光の光を直線偏光の光に変換するための第 2 位相部材をさらに有することを特徴とする請求項 1 乃至 1 3 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

【請求項 1 5】 前記第 2 位相部材は、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された $1/4$ 波長板を有することを特徴とする請求項 1 4 に記載の照明光学装置。

【請求項 1 6】 前記光源部と前記偏光状態切換手段との間の光路中に配置されて立方晶系の結晶材料により形成された光透過部材において、光の進行方向が結晶方位 $<110>$ よりも結晶方位 $<111>$ または結晶方位 $<100>$ に近くなるように設定されていることを特徴とする請求項 1 乃至 1 5 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

【請求項 1 7】 前記偏光状態切換手段と前記非照射面との間の光路中に配置されて立方晶系の結晶材料により形成された光透過部材において、光の進行方向が結晶方位 $<110>$ よりも結晶方位 $<111>$ または結晶方位 $<100>$ に近くなるように設定されていることを特徴とする請求項 1 6 に記載の照明光学装置。

【請求項 1 8】 前記光透過部材は、前記光路中に固定的に位置決めされた光学部材を有し、

前記光学部材の光軸は、結晶方位 $<111>$ または結晶方位 $<100>$ にほぼ一致するように設定されていることを特徴とする請求項 1 6 または 1 7 に記載の照明光学装置。

【請求項 1 9】 前記光透過部材は、裏面反射鏡としての直角プリズムを有し、

前記直角プリズムの入射面および射出面は結晶面 $\{100\}$ にほぼ一致するようく設定され、且つ前記直角プリズムの反射面は結晶面 $\{110\}$ にほぼ一致するように設定されていることを特徴とする請求項 1 6 または 1 7 に記載の照明光

学装置。

【請求項20】 前記光透過部材は、前記光路中において光軸に対して傾斜可能に設けられて前記光軸に沿って入射する光線を平行移動させるための平行平面板を有し、

前記平行平面板の光軸は、結晶方位<100>にほぼ一致するように設定されていることを特徴とする請求項16または17に記載の照明光学装置。

【請求項21】 前記光源部からの光束に基づいて前記被照射面に対してフーリエ変換の関係にある瞳面またはその近傍に実質的な面光源を形成するための面光源形成手段と、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方を変更するための変更手段と、前記実質的な面光源からの光束を前記被照射面へ導くための導光光学系とをさらに備えていることを特徴とする請求項1乃至20のいずれか1項に記載の照明光学装置。

【請求項22】 前記偏光状態切換手段は、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方の変更に応じて、前記被照射面を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることを特徴とする請求項21に記載の照明光学装置。

【請求項23】 請求項1乃至22のいずれか1項に記載の照明光学装置を備え、マスクのパターンを前記被照射面に配置された感光性基板上に露光することを特徴とする露光装置。

【請求項24】 前記変更手段は、前記マスクのパターン特性に応じて、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方を変更し、

前記偏光状態切換手段は、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方の変更に応じて、前記マスクを照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることを特徴とする請求項23に記載の露光装置。

【請求項25】 請求項1乃至22のいずれか1項に記載の照明光学装置を介してマスクを照明し、照明された前記マスクに形成されたパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光方法。

【請求項26】 第1面に配置されるマスクのパターンを、第2面に配置さ

れる感光性基板上に露光する露光方法において、

直線偏光の光を供給する第1工程と、

前記第1工程によって供給された光に基づいて前記マスクを照明する第2工程と、

前記第2工程によって照明された前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する第3工程と、

前記第2面上での光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換える第4工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項27】 前記第4工程は、直線偏光の偏光面を可変とする工程を含むことを特徴とする請求項26に記載の露光方法。

【請求項28】 前記マスクに対してフーリエ変換の関係にある照明瞳面またはその近傍に実質的な面光源を形成し、

前記マスクのパターン特性に応じて、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方を変更し、

前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方の変更に応じて、前記マスクを照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることを特徴とする請求項25乃至27のいずれか1項に記載の露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は照明光学装置、露光装置および露光方法に関し、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィー工程で製造するための露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光束が、オプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズを介して、多数の光源からなる実質的な面光源としての二次光源を形成する。二次光源からの光束は、フライアイ

レンズの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレンズに入射する。

【0003】

コンデンサーレンズにより集光された光束は、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介してウェハ上に結像する。こうして、ウェハ上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

【0004】

そこで、フライアイレンズの後側焦点面に円形状の二次光源を形成し、その大きさを変化させて照明のコヒーレンシィ σ （ σ 値=開口絞り径／投影光学系の瞳径、あるいは σ 値=照明光学系の射出側開口数／投影光学系の入射側開口数）を変化させる技術が注目されている。また、フライアイレンズの後側焦点面に輪帶状や4極状の二次光源を形成し、投影光学系の焦点深度や解像力を向上させる技術が注目されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

上述のような従来の露光装置では、マスクのパターン特性に応じて、円形状の二次光源に基づく通常の円形照明を行ったり、輪帶状や4極状の二次光源に基づく変形照明（輪帶照明や4極照明）を行ったりしている。しかしながら、マスクのパターン特性に応じてマスクを照明する光の偏光状態を変化させることはなく、非偏光状態の光でマスクを照明するのが通常であり、マスクのパターンを忠実に転写するために必要な適切な照明条件を必ずしも実現することができない。

【0006】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、たとえば露光装置に搭載された場合に、マスクのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させて適切な照明条件を実現することのできる照明光学装置を提供することを目的とする。また、本発明は、マスクのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させ

る照明光学装置を用いて、マスクのパターン特性に応じて実現された適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、直線偏光の光を供給する光源部を有し、該光源部からの光で被照射面を照明する照明光学装置において、

前記光源部と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記被照射面を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えるための偏光状態切換手段を備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0008】

第1形態の好ましい態様によれば、前記偏光状態切換手段は、前記被照射面を照明する光の偏光状態が直線偏光状態である場合に、直線偏光の偏光面を可変とする。また、前記偏光状態切換手段は、入射する直線偏光の光の偏光面を必要に応じて変化させるための位相部材と、入射する直線偏光の光を必要に応じて非偏光化するためのデポラライザとを有することが好ましい。この場合、前記位相部材は、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された1／2波長板を有することが好ましい。

【0009】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記デポラライザは、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された水晶プリズムを有する。あるいは、前記デポラライザは、照明光路に対して挿脱自在に構成された水晶プリズムを有することが好ましい。あるいは、前記デポラライザは、照明光路中に固定的に位置決めされた水晶プリズムを有することが好ましい。

【0010】

さらに、第1形態の好ましい態様によれば、前記デポラライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏

光ビームスプリッターへ戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは前記照明光学装置の光軸を中心として一体的に回転自在に構成されている。

【0011】

あるいは、前記デポラライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏光ビームスプリッターへ戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは照明光路に対して一体的に挿脱自在に構成されていることが好ましい。

【0012】

あるいは、前記デポラライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏光ビームスプリッターへ戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは照明光路中に固定的に位置決めされていることが好ましい。

【0013】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記偏光状態切換手段は、入射する直線偏光の光を必要に応じて非偏光化するためのデポラライザを有する。この場合、前記デポラライザは、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された水晶プリズムを有することが好ましい。あるいは、前記デポラライザは、偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターを透過した光の光路と前記偏光ビームスプリッターで最終的に反射された光の光路とがほぼ一致するように、前記偏光ビームスプリッターで反射された光を平面内において複数回反射させて前記偏光ビームスプリッターへ戻すための反射系とを有し、前記偏光ビームスプリッターと前記反射系とは前記照明光学装置の光軸を中心として一体的に回転自在に構成されていることが好ましい。

【0014】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記偏光状態切換手段は、入射する橢円偏光の光を直線偏光の光に変換するための第2位相部材をさらに有する。この場合、前記第2位相部材は、前記照明光学装置の光軸を中心として結晶光学軸が回転自在に構成された1/4波長板を有することが好ましい。

【0015】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記光源部と前記偏光状態切換手段との間の光路中に配置されて立方晶系の結晶材料により形成された光透過部材において、光の進行方向が結晶方位<110>よりも結晶方位<111>または結晶方位<100>に近くなるように設定されている。この場合、前記偏光状態切換手段と前記非照射面との間の光路中に配置されて立方晶系の結晶材料により形成された光透過部材において、光の進行方向が結晶方位<110>よりも結晶方位<111>または結晶方位<100>に近くなるように設定されていることが好ましい。

【0016】

ここで、前記光透過部材は、前記光路中に固定的に位置決めされた光学部材を有し、前記光学部材の光軸は、結晶方位<111>または結晶方位<100>にほぼ一致するように設定されていることが好ましい。また、前記光透過部材は、裏面反射鏡としての直角プリズムを有し、前記直角プリズムの入射面および射出面は結晶面{100}にほぼ一致するように設定され、且つ前記直角プリズムの反射面は結晶面{110}にほぼ一致するように設定されていることが好ましい。また、前記光透過部材は、前記光路中において光軸に対して傾斜可能に設けられて前記光軸に沿って入射する光線を平行移動させるための平行平面板を有し、前記平行平面板の光軸は、結晶方位<100>にほぼ一致するように設定されていることが好ましい。

【0017】

さらに、第1形態の好ましい態様によれば、前記光源部からの光束に基づいて前記被照射面に対してフーリエ変換の関係にある瞳面またはその近傍に実質的な面光源を形成するための面光源形成手段と、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方を変更するための変更手段と、前記実質的な面光源

からの光束を前記被照射面へ導くための導光光学系とをさらに備えている。この場合、前記偏光状態切換手段は、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方の変更に応じて、前記被照射面を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることが好ましい。

【0018】

本発明の第2形態では、第1形態の照明光学装置を備え、マスクのパターンを前記被照射面に配置された感光性基板上に露光することを特徴とする露光装置を提供する。この場合、前記変更手段は、前記マスクのパターン特性に応じて、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方を変更し、前記偏光状態切換手段は、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方の変更に応じて、前記マスクを照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることが好ましい。

【0019】

本発明の第3形態では、第1形態の照明光学装置を介してマスクを照明し、照明された前記マスクに形成されたパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光方法を提供する。

【0020】

本発明の第4形態では、第1面に配置されるマスクのパターンを、第2面に配置される感光性基板上に露光する露光方法において、

直線偏光の光を供給する第1工程と、

前記第1工程によって供給された光に基づいて前記マスクを照明する第2工程と、

前記第2工程によって照明された前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する第3工程と、

前記第2面上での光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換える第4工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。この場合、前記第4工程は、直線偏光の偏光面を可変とする工程を含むことが好ましい。

【0021】

第3形態および第4形態の好ましい態様によれば、前記マスクに対してフーリ

工変換の関係にある照明瞳面またはその近傍に実質的な面光源を形成し、

前記マスクのパターン特性に応じて、前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方を変更し、

前記実質的な面光源の形状および大きさのうちの少なくとも一方の変更に応じて、前記マスクを照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換える。

【0022】

【発明の実施の形態】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

図1は、本発明の実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。図1において、感光性基板であるウェハWの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハ面内において図1の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハ面内において図1の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。なお、図1では、照明光学装置が輪帯照明を行うように設定されている。

【0023】

本実施形態の露光装置は、露光光（照明光）を供給するためのレーザ光源1を備えている。レーザ光源1として、たとえば248nmの波長の光を供給するKrFエキシマレーザ光源や193nmの波長の光を供給するArFエキシマレーザ光源などを用いることができる。レーザ光源1からZ方向に沿って射出されたほぼ平行な光束は、X方向に沿って細長く伸びた矩形状の断面を有し、一対のレンズ2aおよび2bからなるビームエキスパンダ2に入射する。各レンズ2aおよび2bは、図1の紙面内（YZ平面内）において負の屈折力および正の屈折力をそれぞれ有する。したがって、ビームエキスパンダ2に入射した光束は、図1の紙面内において拡大され、所定の矩形状の断面を有する光束に整形される。

【0024】

整形光学系としてのビームエキスパンダ2を介したほぼ平行な光束は、折り曲げミラー3でY方向に偏向された後、位相部材10、デポラライザ（非偏光化素子）20、および回折光学素子4を介して、アフォーカルズームレンズ5に入射する。位相部材10およびデポラライザ20の構成および作用については後述す

る。一般に、回折光学素子は、基板に露光光（照明光）の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。具体的には、回折光学素子4は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、そのファーフィールド（またはフラウンホーファー回折領域）に円形状の光強度分布を形成する機能を有する。

【0025】

したがって、回折光学素子4を介した光束は、アフォーカルズームレンズ5の瞳位置に円形状の光強度分布、すなわち円形状の断面を有する光束を形成する。回折光学素子4は、照明光路から退避可能に構成されている。アフォーカルズームレンズ5は、アフォーカル系（無焦点光学系）を維持しながら所定の範囲で倍率を連続的に変化させることができるように構成されている。アフォーカルズームレンズ5を介した光束は、輪帯照明用の回折光学素子6に入射する。アフォーカルズームレンズ5は、回折光学素子4の発散原点と回折光学素子6の回折面とを光学的にほぼ共役に結んでいる。そして、回折光学素子6の回折面またはその近傍の面の一点に集光する光束の開口数は、アフォーカルズームレンズ5の倍率に依存して変化する。

【0026】

輪帯照明用の回折光学素子6は、平行光束が入射した場合に、そのファーフィールドにリング状の光強度分布を形成する機能を有する。回折光学素子6は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ4極照明用の回折光学素子60や円形照明用の回折光学素子61やX方向2極照明用の回折光学素子62やY方向2極照明用の回折光学素子63と切り換え可能に構成されている。4極照明用の回折光学素子60、円形照明用の回折光学素子61、X方向2極照明用の回折光学素子62、およびY方向2極照明用の回折光学素子63の構成および作用については後述する。

【0027】

回折光学素子6を介した光束は、ズームレンズ7に入射する。ズームレンズ7の後側焦点面の近傍には、マイクロレンズアレイ（またはフライアイレンズ）8の入射面が位置決めされている。マイクロレンズアレイ8は、縦横に且つ稠密に

配列された多数の正屈折力を有する微小レンズからなる光学素子である。一般に、マイクロレンズアレイは、たとえば平行平面板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。

【0028】

ここで、マイクロレンズアレイを構成する各微小レンズは、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロレンズアレイは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズ（微小屈折面）が互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズ要素が縦横に配置されている点でマイクロレンズアレイはフライアイレンズと同じ波面分割型のオプティカルインターテグレータである。

【0029】

上述したように、回折光学素子4を介してアフォーカルズームレンズ5の瞳位置に形成される円形状の光強度分布からの光束は、アフォーカルズームレンズ5から射出された後、様々な角度成分を有する光束となって回折光学素子6に入射する。すなわち、回折光学素子4は、角度光束形成機能を有するオプティカルインターテグレータを構成している。一方、回折光学素子6は、平行光束が入射した場合に、そのファーフィールドにリング状の光強度分布を形成する光束変換素子としての機能を有する。したがって、回折光学素子6を介した光束は、ズームレンズ7の後側焦点面に（ひいてはマイクロレンズアレイ8の入射面に）、たとえば光軸AXを中心とした輪帯状の照野を形成する。

【0030】

マイクロレンズアレイ8の入射面に形成される輪帯状の照野の外径は、ズームレンズ7の焦点距離に依存して変化する。このように、ズームレンズ7は、回折光学素子6とマイクロレンズアレイ8の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に結んでいる。マイクロレンズアレイ8に入射した光束は二次元的に分割され、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面には、図2（a）に示すように、入射光束によって形成される照野と同じ輪帯状の多数光源（以下、「二次光源」という）が形成される。

【0031】

マイクロレンズアレイ8の後側焦点面に形成された輪帯状の二次光源からの光束は、コンデンサー光学系9の集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたマスクMを重畳的に照明する。マスクMのパターンを透過した光束は、投影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上にマスクパターンの像を形成する。こうして、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面(XY平面)内においてウェハWを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハWの各露光領域にはマスクMのパターンが逐次露光される。

【0032】

本実施形態では、アフォーカルズームレンズ5の倍率が変化すると、輪帯状の二次光源の中心高さ(円形状の中心線の光軸AXからの距離) d_0 が変化することなく、その幅(外径(直径)と内径(直径)との差の $1/2$) w_0 だけが変化する。すなわち、アフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させることにより、輪帯状の二次光源の大きさ(外径)およびその形状(輪帯比:内径/外径)をともに変更することができる。

【0033】

また、ズームレンズ7の焦点距離が変化すると、輪帯状の二次光源の輪帯比が変化することなく、中心高さ d_0 およびその幅 w_0 がともに変化する。すなわち、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、輪帯状の二次光源の輪帯比を変更することなくその外径を変更することができる。以上より、本実施形態では、アフォーカルズームレンズ5の倍率とズームレンズ7の焦点距離とを適宜変化させることにより、輪帯状の二次光源の外径を変化させることなくその輪帯比だけを変更することができる。

【0034】

なお、回折光学素子6に代えて回折光学素子60を照明光路中に設定することによって4極照明を行うことができる。4極照明用の回折光学素子60は、平行光束が入射した場合に、そのファーフィールドに4点状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子60を介した光束は、マイクロレンズアレイ8の入射面に、たとえば光軸AXを中心とした4つの円形状の照野からな

る4極状の照野を形成する。その結果、図2（b）に示すように、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面にも、その入射面に形成された照野と同じ4極状の二次光源が形成される。

【0035】

4極照明においても輪帯照明の場合と同様に、アフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させることにより、4極状の二次光源の外径（4つの円形状の面光源に外接する円の直径） D_o および輪帯比（4つの円形状の面光源に内接する円の直径 D_i ／4つの円形状の面光源に外接する円の直径 D_o ）をともに変更することができる。また、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、4極状の二次光源の輪帯比を変更することなくその外径を変更することができる。その結果、アフォーカルズームレンズ5の倍率とズームレンズ7の焦点距離とを適宜変化させることにより、4極状の二次光源の外径を変化させることなくその輪帯比だけを変更することができる。

【0036】

また、回折光学素子4を照明光路から退避させるとともに、回折光学素子6または60に代えて円形照明用の回折光学素子61を照明光路中に設定することによって、通常の円形照明を行うことができる。この場合、アフォーカルズームレンズ5には光軸AXに沿って矩形状の断面を有する光束が入射する。アフォーカルズームレンズ5に入射した光束は、その倍率に応じて拡大または縮小され、矩形状の断面を有する光束のまま光軸AXに沿ってアフォーカルズームレンズ5から射出され、回折光学素子61に入射する。

【0037】

ここで、円形照明用の回折光学素子61は、回折光学素子4と同様に、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、ファーフィールドに円形状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子61により形成された円形光束は、ズームレンズ7を介して、マイクロレンズアレイ8の入射面において光軸AXを中心とした円形状の照野を形成する。その結果、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面にも、光軸AXを中心とした円形状の二次光源が形成される。この場合、アフォーカルズームレンズ5の倍率またはズームレンズ7の焦点距

離を変化させることにより、円形状の二次光源の外径を適宜変更することができる。

【0038】

さらに、回折光学素子6、60または61に代えて回折光学素子62を照明光路中に設定することによってX方向2極照明を行うことができる。X方向2極照明用の回折光学素子62は、平行光束が入射した場合に、そのファーフィールドに、X方向に沿って間隔を隔てた2点状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子62を介した光束は、マイクロレンズアレイ8の入射面に、たとえば光軸AXを中心としてX方向に沿って間隔を隔てた2つの円形状の照野からなる2極状の照野を形成する。その結果、図3(a)に示すように、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面にも、その入射面に形成された照野と同じX方向に沿った2極状の二次光源が形成される。

【0039】

また、回折光学素子6、60、61または62に代えて回折光学素子63を照明光路中に設定することによってY方向2極照明を行うことができる。Y方向2極照明用の回折光学素子63は、平行光束が入射した場合に、そのファーフィールドに、Z方向(マスク上およびウェハ上においてY方向に対応)に沿って間隔を隔てた2点状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子63を介した光束は、マイクロレンズアレイ8の入射面に、たとえば光軸AXを中心としてZ方向に沿って間隔を隔てた2つの円形状の照野からなる2極状の照野を形成する。その結果、図3(b)に示すように、マイクロレンズアレイ8の後側焦点面にも、その入射面に形成された照野と同じZ方向に沿った2極状の二次光源が形成される。

【0040】

2極照明においても4極照明の場合と同様に、アフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させることにより、2極状の二次光源の外径(2つの円形状の面光源に外接する円の直径)doおよび輪帯比(2つの円形状の面光源に内接する円の直径di/2つの円形状の面光源に外接する円の直径do)をともに変更することができる。また、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、2極状

の二次光源の輪帯比を変更することなくその外径を変更することができる。その結果、アフォーカルズームレンズ5の倍率とズームレンズ7の焦点距離とを適宜変化させることにより、2極状の二次光源の外径を変化させることなくその輪帯比だけを変更することができる。

【0041】

図4は、図1の位相部材およびデポラライザの構成を概略的に示す図である。図4を参照すると、位相部材10は、光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に構成された1/2波長板により構成されている。一方、デポラライザ20は、楔形状の水晶プリズム20aと、この水晶プリズム20aと相補的な形状を有する楔形状の石英プリズム20bとにより構成されている。水晶プリズム20aと石英プリズム20bとは、一体的なプリズム組立体として、照明光路に対して挿脱自在に構成されている。レーザ光源1としてKrFエキシマレーザ光源またはArFエキシマレーザ光源を用いている場合、1/2波長板10には直線偏光の光が入射する。

【0042】

1/2波長板10の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定された場合、1/2波長板10に入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過する。また、1/2波長板10の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定された場合、1/2波長板10に入射した直線偏光の光は偏光面が90度だけ変化した直線偏光の光に変換される。さらに、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定された場合、水晶プリズム20aに入射した直線偏光の光は非偏光状態の光に変換（非偏光化）される。

【0043】

本実施形態では、デポラライザ20が照明光路中に位置決めされたときに水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように構成されている。ちなみに、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定され

た場合、水晶プリズム20aに入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過する。また、1/2波長板10の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して22.5度の角度をなすように設定された場合、1/2波長板10に入射した直線偏光の光は、偏光面が変化することなくそのまま通過する直線偏光成分と偏光面が90度だけ変化した直線偏光成分とを含む非偏光状態の光に変換される。

【0044】

本実施形態では、上述したように、レーザ光源1からの直線偏光の光が1/2波長板10に入射するが、以下の説明を簡単にするために、P偏光の光が1/2波長板10に入射するものとする。デポラライザ20を照明光路中に位置決めした場合、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過して水晶プリズム20aに入射する。水晶プリズム20aの結晶光学軸は入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定されているので、水晶プリズム20aに入射したP偏光の光は非偏光状態の光に変換される。

【0045】

水晶プリズム20aを介して非偏光化された光は、光の進行方向を補償するためのコンペンセータとしての石英プリズム20bを介して、非偏光状態でマスクM（ひいてはウェハW）を照明する。一方、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が90度だけ変化し、S偏光の光になって水晶プリズム20aに入射する。水晶プリズム20aの結晶光学軸は入射するS偏光の偏光面に対しても45度の角度をなすように設定されているので、水晶プリズム20aに入射したS偏光の光は非偏光状態の光に変換され、石英プリズム20bを介して、非偏光状態でマスクMを照明する。

【0046】

これに対し、デポラライザ20を照明光路から退避させた場合、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度を

なすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過し、P偏光状態の光でマスクMを照明する。一方、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が90度だけ変化してS偏光の光になり、S偏光状態の光でマスクMを照明する。

【0047】

以上のように、本実施形態では、デポラライザ20を照明光路中に挿入して位置決めすることにより、非偏光状態でマスクMを照明することができる。また、デポラライザ20を照明光路から退避させ且つ1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定することにより、P偏光状態でマスクMを照明することができる。さらに、デポラライザ20を照明光路から退避させ且つ1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度をなすように設定することにより、S偏光状態でマスクMを照明することができる。

【0048】

換言すれば、本実施形態では、1/2波長板10とデポラライザ20とからなる偏光状態切換手段の作用により、被照射面としてのマスクM（ひいてはウェハW）を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることができ、直線偏光の光で照明する場合にはP偏光状態とS偏光状態との間で切り換える（直線偏光の偏光面を可変とする）ことができる。その結果、本実施形態では、マスクMのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させて適切な照明条件を実現することができるので、マスクMのパターン特性に応じて実現された適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができる。

【0049】

具体的には、たとえばX方向2極照明に設定するとともに、マスクM上においてX方向に沿って偏光面を有する直線偏光状態の光でマスクMを照明することにより、ウェハW上のクリティカルレイヤにおけるX方向に沿った線幅の非常に小さいパターンを忠実に露光することができる。次いで、たとえばY方向2極照明に切り換えるとともに、マスクM上においてY方向に沿って偏光面を有する直線

偏光状態の光でマスクMを照明することにより、ウェハW上の同じクリティカルレイヤにおけるY方向に沿った線幅の非常に小さいパターンを忠実に露光することができる。

【0050】

さらに、クリティカルレイヤにおける二重露光が終了した後に、たとえば2極照明のままで、あるいは4極照明や輪帯照明や円形照明に切り換えるとともに、非偏光状態の光でマスクMを照明することにより、ウェハW上のノンクリティカルレイヤ（ミドルレイヤまたはラフレイヤ）における線幅の比較的大きい二次元パターンを高スループットで露光することができる。ただし、これは一例であって、一般的には、マスクMのパターン特性に応じて、二次光源の適切な形状または大きさを設定し、且つマスクMを照明する光を適切な偏光状態に設定することにより、適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができる。

【0051】

実際に、P偏光の光線が斜入射する場合とS偏光の光線が斜入射する場合とでは、ウェハW上に形成されたレジスト層の表面における散乱が異なる。具体的には、S偏光の方がP偏光よりも反射率が高く、したがってP偏光の方がS偏光よりもレジスト層の内部へ深く達する。このようなレジスト層に対するP偏光とS偏光との光学特性の相違を利用し、マスクMのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させて適切な照明条件を実現すれば、適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことになる。

【0052】

なお、上述の実施形態では、入射する直線偏光の光の偏光面を必要に応じて変化させるための位相部材としての1/2波長板10を光源側に配置し、入射する直線偏光の光を必要に応じて非偏光化するためのデポラライザ20をマスク側に配置している。しかしながら、これに限定されることなく、デポラライザ20を光源側に配置し且つ1/2波長板10をマスク側に配置しても同じ光学的な作用効果を得ることができる。

【0053】

また、上述の実施形態では、水晶プリズム20aを介した光の進行方向を補償

するためのコンペンセータとして石英プリズム20bを用いている。しかしながら、これに限定されることなく、KrFエキシマレーザ光やArFエキシマレーザ光に対して耐久性の高い光学材料、たとえば水晶や萤石などにより形成された楔形状のプリズムをコンペンセータとして用いていることもできる。この点は、他の関連する変形例においても同様である。

【0054】

図5は、第1変形例にかかる偏光状態切換手段の構成を概略的に示す図である。図5の第1変形例にかかる偏光状態切換手段は、図4の実施形態にかかる偏光状態切換手段と類似の構成を有する。しかしながら、図4の実施形態ではデポラライザ20が照明光路に対して挿脱自在に構成されているのに対し、図5の第1変形例ではデポラライザ20を構成する水晶プリズム20aと石英プリズム20bとが一体的に光軸AXを中心として回転自在に構成され、ひいては水晶プリズム20aの結晶光学軸が光軸AXを中心として回転自在に構成されている点が基本的に相違している。以下、図4の実施形態との相違点に着目して、図5の第1変形例を説明する。

【0055】

第1変形例では、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過して水晶プリズム20aに入射する。このとき、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム20aに入射したP偏光の光は非偏光状態の光に変換され、石英プリズム20bを介して非偏光状態でマスクMを照明する。また、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム20aに入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過し、石英プリズム20bを介してP偏光状態でマスクMを照明する。

【0056】

一方、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45

度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が90度だけ変化し、S偏光の光になって水晶プリズム20aに入射する。このとき、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム20aに入射したS偏光の光は非偏光状態の光に変換され、石英プリズム20bを介して非偏光状態でマスクMを照明する。一方、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射するS偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム20aに入射したS偏光の光は偏光面が変化することなくS偏光のまま通過し、石英プリズム20bを介してS偏光状態でマスクMを照明する。

【0057】

以上のように、図5の第1変形例では、1/2波長板10の光軸AX廻りの回転と水晶プリズム20aの光軸AX廻りの回転との組み合わせにより、マスクMを照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることができ、直線偏光の光で照明する場合にはP偏光状態とS偏光状態との間で切り換えることができる。なお、図5の第1変形例においても、1/2波長板10を光源側に配置し且つデポラライザ20をマスク側に配置しているが、デポラライザ20を光源側に配置し且つ1/2波長板10をマスク側に配置しても同じ光学的な作用効果を得ることができる。

【0058】

図6は、第2変形例にかかる偏光状態切換手段の構成を概略的に示す図である。図6の第2変形例にかかる偏光状態切換手段は、図4の実施形態にかかる偏光状態切換手段と類似の構成を有する。しかしながら、図4の実施形態ではデポラライザ20が照明光路に対して挿脱自在に構成されているのに対し、図6の第2変形例ではデポラライザ20が照明光路中に固定的に位置決めされている点が基本的に相違している。以下、図4の実施形態との相違点に着目して、図6の第2変形例を説明する。

【0059】

第2変形例では、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように位置決めされている。したがって

、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過して水晶プリズム20aに入射する。水晶プリズム20aの結晶光学軸は入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように位置決めされているので、水晶プリズム20aに入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過し、石英プリズム20bを介してP偏光状態でマスクMを照明する。

【0060】

また、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が90度だけ変化し、S偏光の光になって水晶プリズム20aに入射する。水晶プリズム20aの結晶光学軸は入射するS偏光の偏光面に対しても0度または90度の角度をなすように位置決めされているので、水晶プリズム20aに入射したS偏光の光は偏光面が変化することなくS偏光のまま通過し、石英プリズム20bを介してS偏光状態でマスクMを照明する。

【0061】

さらに、1/2波長板10の結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して2.5度の角度をなすように設定すると、前述したように、1/2波長板10に入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過するP偏光成分と偏光面が90度だけ変化したS偏光成分とを含む非偏光状態の光に変換されて、水晶プリズム20aに入射する。水晶プリズム20aの結晶光学軸は入射するP偏光成分の偏光面に対してもS偏光成分の偏光面に対しても0度または90度の角度をなすように位置決めされているので、水晶プリズム20aに入射したP偏光成分もS偏光成分も偏光面が変化することなく通過し、石英プリズム20bを介して非偏光状態でマスクMを照明する。

【0062】

以上のように、図6の第2変形例では、デポラライザ20を照明光路中に固定的に位置決めした状態で1/2波長板10を光軸AX廻りに適宜回転させることにより、マスクMを照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で

切り換えることができ、直線偏光の光で照明する場合にはP偏光状態とS偏光状態との間で切り換えることができる。なお、図6の第2変形例においても、1/2波長板10を光源側に配置し且つデポラライザ20をマスク側に配置しているが、デポラライザ20を光源側に配置し且つ1/2波長板10をマスク側に配置しても同じ光学的な作用効果を得ることができる。

【0063】

図7は、第3変形例にかかる偏光状態切換手段の構成を概略的に示す図である。図7の第3変形例にかかる偏光状態切換手段は、図5の第1変形例にかかる偏光状態切換手段と類似の構成を有する。しかしながら、図5の第1変形例では偏光状態切換手段が1/2波長板10とデポラライザ20とにより構成されているのに対し、図7の第3変形例では偏光状態切換手段が光軸AXを中心として回転自在なデポラライザ20のみにより構成されている点が基本的に相違している。以下、図5の第1変形例との相違点に着目して、図7の第3変形例を説明する。

【0064】

第3変形例では、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム20aに入射したP偏光の光は非偏光状態の光に変換され、石英プリズム20bを介して非偏光状態でマスクMを照明する。一方、水晶プリズム20aの結晶光学軸が入射するP偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、水晶プリズム20aに入射したP偏光の光は偏光面が変化することなくP偏光のまま通過し、石英プリズム20bを介してP偏光状態でマスクMを照明する。

【0065】

以上のように、図7の第3変形例では、水晶プリズム20aを光軸AX廻りに適宜回転させることにより、マスクMを照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることができる。なお、図7の第3変形例では、デポラライザ20を光軸AX廻りに回転自在に構成するとともに照明光路に対して挿脱自在に構成し、デポラライザ20を照明光路から退避させることによりP偏光状態でマスクMを照明するように設定しても、同じ光学的な作用効果を得ることができる。

【0066】

図8は、変形例にかかるデポラライザの構成を概略的に示す図である。上述の実施形態および第1変形例～第3変形例では、デポラライザ20が水晶プリズム20aを有する構成を採用しているが、図8の変形例に示すように、偏光ビームスプリッター21aと反射系(21b～21e)とによりデポラライザ21を構成することもできる。図8を参照すると、デポラライザ21は、照明光路中に配置された偏光ビームスプリッター21aを備えている。偏光ビームスプリッター21aに入射した光のうち、P偏光の光(図中においてその偏光方向を両矢印で示す)は偏光ビームスプリッター21aを透過する。

【0067】

一方、S偏光の光(図中においてその偏光方向を点で示す)は、偏光ビームスプリッター21aで反射された後、4つの反射鏡21b～21eにより構成された反射系の作用により、図8の紙面に平行な平面内において4回だけ反射されて偏光ビームスプリッター21aに戻る。ここで、反射系(21b～21e)は、偏光ビームスプリッター21aを透過したP偏光の光の光路と偏光ビームスプリッター21aで最終的に反射されたS偏光の光の光路とがほぼ一致するように構成されている。こうして、偏光ビームスプリッター21aを透過したP偏光の光と偏光ビームスプリッター21aで最終的に反射されたS偏光の光とはほぼ同一の光路に沿ってデポラライザ21から射出される。ただし、S偏光の光はP偏光の光に対して反射系(21b～21e)の光路長だけ遅延される。

【0068】

偏光ビームスプリッター21aと反射系(21b～21e)とにより構成されたデポラライザ21は、水晶プリズム20aと石英プリズム20bとにより構成されたデポラライザ20と基本的に等価な光学的作用を有する。したがって、実施形態および第1変形例～第3変形例におけるデポラライザ20を、図8の変形例にかかるデポラライザ21で置換することができる。すなわち、図4の実施形態にデポラライザ21を適用する場合、偏光ビームスプリッター21aと反射系(21b～21e)とを、照明光路に対して一体的に挿脱自在に構成することになる。

【0069】

また、図5の第1変形例または図7の第3変形例にデポラライザ21を適用する場合、偏光ビームスプリッター21aと反射系(21b～21e)とを、光軸AXを中心として一体的に回転自在に構成することになる。さらに、図6の第2変形例にデポラライザ21を適用する場合、偏光ビームスプリッター21aと反射系(21b～21e)とを照明光路中に固定的に位置決めすることになる。

【0070】

図8の変形例にかかるデポラライザ21では、反射系(21b～21e)の光路長を照明光(露光光)の可干渉距離よりも実質的に大きく設定することにより、マスクMを照明するレーザ光のコヒーレンシィ(干渉性)の低減を図り、ひいてはウェハW上におけるスペックルのコントラストの低減を図ることができる。なお、偏光ビームスプリッターと反射系とを備えて本発明に適用可能なデポラライザの詳細な構成およびその様々な変形例については、たとえば特開平11-174365号公報、特開平11-312631号公報、特開2000-223396号公報などを参照することができる。

【0071】

図9は、図1において光源と偏光状態切換手段との間に配置されるビームマッチングユニットの内部構成を概略的に示す図である。図9に示すビームマッチングユニットBMUにおいて、レーザ光源1(例えばKrFエキシマレーザ光源またはArFエキシマレーザ光源)から供給された平行ビームは、一対の偏角プリズム31および平行平面板32を介した後に、ビームエキスパンダ2に入射する。レーザ光源1は、たとえば下階の床版A上に設置されている。

【0072】

ここで、一対の偏角プリズム31のうちの少なくとも一方は、光軸AXを中心として回転可能に構成されている。したがって、一対の偏角プリズム31を光軸AX廻りに相対回転させることにより、光軸AXに対する平行ビームの角度を調整することができる。すなわち、一対の偏角プリズム31は、レーザ光源1から供給された平行ビームの光軸AXに対する角度を調整するためのビーム角度調整手段を構成している。また、平行平面板32は、光軸AXに垂直な面内において

直交する2つの軸線廻りに回転可能に構成されている。

【0073】

したがって、平行平面板32を各軸線廻りに回転させて光軸AXに対して傾斜させることにより、平行ビームを光軸AXに対して平行移動させることができる。すなわち、平行平面板32は、レーザ光源1から供給された平行ビームを光軸AXに対して平行移動させるためのビーム平行移動手段を構成している。こうして、一対の偏角プリズム31および平行平面板32を介したレーザ光源1からの平行ビームは、ビームエキスパンダ2を介して所定の断面形状を有する平行ビームに拡大整形された後に、第1直角プリズム33に入射する。

【0074】

裏面反射鏡としての第1直角プリズム33によって鉛直方向に偏向された平行ビームは、同じく裏面反射鏡としての第2直角プリズム34～第5直角プリズム37で順次反射された後に、上階の床版Bの開口部を通過して第6直角プリズム38に入射する。図9に示すように、第2直角プリズム34～第5直角プリズム37は、第1直角プリズム33によって鉛直方向に偏向されて第6直角プリズム38に向かう平行ビームが、例えば純水供給用の配管や換気用の配管39などを迂回するように配置されている。

【0075】

裏面反射鏡としての第6直角プリズム38によって水平方向に偏向されたビームは、ハーフミラー40に入射する。ハーフミラー40で反射されたビームは、位置ずれ傾き検出系41に導かれる。一方、ハーフミラー40を透過したビームは、1/2波長板10とデポラライザ20とからなる偏光状態切換手段42に導かれる。位置ずれ傾き検出系41では、偏光状態切換手段42に入射する（ひいてはオプティカルインテグレータとしての回折光学素子4に入射する）平行ビームの光軸AXに対する位置ずれおよび傾きが検出される。

【0076】

ここで、レーザ光源1として例えばArFエキシマレーザ光源を用いる場合、エネルギー密度の高い光の照射を受ける光透過部材に蛍石を用いて所要の耐久性を確保するのが一般的である。この場合、後述するように、蛍石で形成された光透

過部材を透過する際に直線偏光の偏光面が短期的に且つ長期的に変化することがある。萤石で形成された光透過部材を介して直線偏光の偏光面が変化すると、水晶プリズム20aが非偏光化素子として機能しなくなってしまう。

【0077】

図10は、萤石の結晶方位について説明する図である。図10を参照すると、萤石の結晶方位は、立方晶系の結晶軸 $a_1 a_2 a_3$ に基づいて規定される。すなわち、結晶軸 + a_1 に沿って結晶方位 [100] が、結晶軸 + a_2 に沿って結晶方位 [010] が、結晶軸 + a_3 に沿って結晶方位 [001] がそれぞれ規定される。また、 $a_1 a_3$ 平面において結晶方位 [100] および結晶方位 [001] と 45 度をなす方向に結晶方位 [101] が、 $a_1 a_2$ 平面において結晶方位 [100] および結晶方位 [010] と 45 度をなす方向に結晶方位 [110] が、 $a_2 a_3$ 平面において結晶方位 [010] および結晶方位 [001] と 45 度をなす方向に結晶方位 [011] がそれぞれ規定される。さらに、結晶軸 + a_1 、結晶軸 + a_2 および結晶軸 + a_3 に対して等しい鋭角をなす方向に結晶方位 [111] が規定される。図10では、結晶軸 + a_1 、結晶軸 + a_2 および結晶軸 + a_3 で規定される空間における結晶方位のみを図示しているが、他の空間においても同様に結晶方位が規定される。

【0078】

本願発明者の検証によれば、萤石で形成された光透過部材において、光の進行方向が結晶方位 [111] またはこれと結晶構造上等価な結晶方位にほぼ一致していれば、この光透過部材を介して直線偏光の偏光面が実質的に変化することはない。同様に、光の進行方向が結晶方位 [100] またはこれと結晶構造上等価な結晶方位にほぼ一致していれば、萤石で形成された光透過部材を介して直線偏光の偏光面が実質的に変化することはない。これに対し、光の進行方向が結晶方位 [110] またはこれと結晶構造上等価な結晶方位にほぼ一致していると、萤石で形成された光透過部材を介して直線偏光の偏光面が短期的に且つ長期的に変化する。

【0079】

なお、本願明細書中において、「ある結晶方位と結晶構造上等価な結晶方位」

とは、ある結晶方位に対して、当該結晶方位の指標の順序を入れ替えた結晶方位と、さらにそれらの各指標の少なくとも一部についての符号を反転した結晶方位であり、例えばある結晶方位が $[u\ v\ w]$ である場合は、 $[u\ w\ v]$ 、 $[v\ u\ w]$ 、 $[v\ w\ u]$ 、 $[w\ u\ v]$ 、 $[w\ v\ u]$ 、 $[-u\ v\ w]$ 、 $[-u\ w\ v]$ 、 $[-v\ u\ w]$ 、 $[-v\ w\ u]$ 、 $[-w\ u\ v]$ 、 $[-w\ v\ u]$ 、 $[u-v\ w]$ 、 $[u-w\ v]$ 、 $[v-u\ w]$ 、 $[v-w\ u]$ 、 $[w-u\ v]$ 、 $[w-v\ u]$ 、 $[u\ v-w]$ 、 $[u\ w-v]$ 、 $[v\ u-w]$ 、 $[v\ w-u]$ 、 $[w\ u-v]$ 、 $[w\ v-u]$ 、 $[-u-v\ w]$ 、 $[-u-w\ v]$ 、 $[-u\ v-w]$ 、 $[-u\ w-v]$ 、 $[-v-u\ w]$ 、 $[-v\ w-u]$ 、 $[-v\ w-u]$ 、 $[-w-v\ u]$ 、 $[-w\ u-v]$ 、 $[-w\ v-u]$ 、 $[u-v-w]$ 、 $[u-w-v]$ 、 $[v-u-w]$ 、 $[v-w-u]$ 、 $[w-u-v]$ 、 $[w-v-u]$ 、 $[-u-v-w]$ 、 $[-u-w-v]$ 、 $[-v-u-w]$ 、 $[-v-w-u]$ 、 $[-w-u-v]$ 、 $[-w-v-u]$ が結晶構造上等価な結晶方位である。また、本願明細書では、結晶方位 $[u\ v\ w]$ およびこれと結晶構造上等価な結晶方位を結晶方位 $\langle u\ v\ w \rangle$ と表記している。また、結晶方位 $[u\ v\ w]$ およびこれと結晶構造上等価な結晶方位と直交する面、すなわち結晶面 $(u\ v\ w)$ およびこれと結晶構造上等価な結晶面を結晶面 $\{u\ v\ w\}$ と表記している。

【0080】

本実施形態では、レーザ光源1と偏光状態切換手段42との間の光路中に配置されて蛍石により形成された光透過部材において、光の進行方向が結晶方位 $\langle 1\ 1\ 0 \rangle$ よりも結晶方位 $\langle 1\ 1\ 1 \rangle$ または結晶方位 $\langle 1\ 0\ 0 \rangle$ に近くなるように設定している。具体的には、ビームエキスパンダ2を構成するレンズ成分(2a, 2b)のように光路中に固定的に位置決めされた光学部材が蛍石により形成されている場合、その光学部材の光軸が結晶方位 $\langle 1\ 1\ 1 \rangle$ または結晶方位 $\langle 1\ 0\ 0 \rangle$ にほぼ一致するように設定している。

【0081】

この場合、レーザ光が結晶方位 $\langle 1\ 1\ 1 \rangle$ または結晶方位 $\langle 1\ 0\ 0 \rangle$ にほぼ沿って透過するので、レンズ成分(2a, 2b)を透過する直線偏光の偏光面は実質的に変化しない。同様に、一対の偏角プリズム31が蛍石により形成されてい

る場合も、その光軸が結晶方位<111>または結晶方位<100>にほぼ一致するように設定することにより、透過する直線偏光の偏光面の変化を実質的に回避することができる。

【0082】

また、裏面反射鏡としての直角プリズム33～38が萤石により形成されている場合、直角プリズム33～38の入射面および射出面が結晶面{100}にほぼ一致するように設定し、且つ直角プリズム33～38の反射面が結晶面{110}にほぼ一致するように設定している。この場合、レーザ光が結晶方位<100>にほぼ沿って透過するので、直角プリズム33～38を透過する直線偏光の偏光面は実質的に変化しない。

【0083】

また、光路中において光軸AXに対して傾斜可能に設けられて光軸AXに沿って入射する光線を平行移動させるビーム平行移動手段としての平行平面板32が萤石により形成されている場合、平行平面板32の光軸が結晶方位<100>にほぼ一致するように設定している。これは、結晶方位<111>と結晶方位<110>とが約35度の角度をなしているのに対し、結晶方位<100>と結晶方位<110>とが45度の角度をなしているためである。

【0084】

平行平面板32の光軸を結晶方位<111>にほぼ一致させると、すなわちその光学面を結晶面{111}にほぼ一致させると、平行平面板32を光軸AXに対して最大限に（たとえば30度程度）傾斜させたときに、その内部を通過するレーザ光の進行方向が結晶方位<110>に近付くことになる。しかしながら、平行平面板32の光軸を結晶方位<100>にほぼ一致させれば、すなわちその光学面を結晶面{100}にほぼ一致させれば、平行平面板32を光軸AXに対して最大限に（たとえば30度程度）傾斜させても、その内部を通過するレーザ光の進行方向が結晶方位<110>からある程度離れた状態を確保することができる。その結果、平行平面板32の光軸を結晶方位<100>にほぼ一致させることにより、その姿勢に関わらず平行平面板32を透過する直線偏光の偏光面の変化を良好に回避することができる。

【0085】

なお、上述の説明では、レーザ光源1と偏光状態切換手段42との間の光路中に配置された光透過部材を透過する直線偏光の偏光面の変化を回避するために、光の進行方向が結晶方位<110>よりも結晶方位<111>または結晶方位<100>に近くなるように設定している。しかしながら、これに限定されることなく、さらに偏光状態切換手段42と被照射面であるマスクM（ひいてはウェハW）との間の光路中に配置された光透過部材に対しても同様の設定を行うことにより、照明光路の全体に亘って蛍石に起因する直線偏光の偏光面の変化を回避することが好ましい。

【0086】

また、上述の説明では、蛍石により形成された光透過部材を透過する直線偏光の偏光面の変化を回避するために、光の進行方向が結晶方位<110>よりも結晶方位<111>または結晶方位<100>に近くなるように設定している。しかしながら、蛍石に限定されることなく、たとえばフッ化カルシウム、フッ化バリウム、フッ化マグネシウムのような立方晶系の結晶材料により形成された光透過部材に対しても同様の設定を行うことにより、当該結晶材料に起因する直線偏光の偏光面の変化を回避することができる。

【0087】

ところで、図9に示すビームマッチングユニットBMUには、複数（図9では例示的に6つ）の直角プリズム33～38が配置されている。一般に、レーザ光源1がKrFエキシマレーザ光源であってもArFエキシマレーザ光源であっても、裏面反射鏡としての直角プリズムに直線偏光が入射する場合、入射する直線偏光の偏光面がP偏光面またはS偏光面に一致していないと、直角プリズムでの全反射により直線偏光が楕円偏光に変わってしまう。本実施形態の偏光状態切換手段42では、直線偏光が入射することを前提としており、楕円偏光が入射すると所要の作用を奏することができない。

【0088】

そこで、本実施形態では、図11に示すように、入射する楕円偏光の光を直線偏光の光に変換するための第2位相部材として、たとえば光軸AXを中心として

結晶光学軸が回転自在に構成された1/4波長板11を、偏光状態切換手段42において1/2波長板10の光源側（図中左側）に付設することが好ましい。この場合、たとえば直角プリズムに起因して楕円偏光が偏光状態切換手段42に入射することがあっても、入射する楕円偏光の特性に応じて1/4波長板11の結晶光学軸を設定することにより、1/2波長板10に直線偏光を入射させて偏光状態切換手段42の本来の動作を維持することができる。なお、図11では、1/2波長板10の光源側に1/4波長板11を配置しているが、1/2波長板10のマスク側（図中右側）に1/4波長板11を配置することもできる。

【0089】

なお、上述の説明では、萤石により形成された光透過部材を透過する直線偏光の偏光面の変化を回避する手法、および直角プリズムなどに起因して楕円偏光が入射しても偏光状態切換手段の本来の動作を維持する手法を、図1～図4に関連する本実施形態に適用している。しかしながら、これに限定されることなく、図5～図8に関連する変形例に対しても同様に、これらの手法を適用することができる。

【0090】

上述の実施形態にかかる露光装置では、照明光学装置によってマスク（レチクル）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、上述の実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図12のフローチャートを参照して説明する。

【0091】

先ず、図12のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ303において、上述の実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その

1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

【0092】

また、上述の実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図13のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図13において、パターン形成工程401では、上述の実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィー工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

【0093】

次に、カラーフィルター形成工程402では、R (Red) 、G (Green) 、B (Blue) に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成

工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0094】

その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【0095】

なお、上述の実施形態では、コンデンサー光学系9によって二次光源からの光を集光して重畳的にマスクMを照明している。しかしながら、これに限定されることなく、コンデンサー光学系9とマスクMとの間の光路中に、照明視野絞り（マスクブラインド）と、この照明視野絞りの像をマスクM上に形成するリレー光学系とを配置しても良い。この場合、コンデンサー光学系9は、二次光源からの光を集光して重畳的に照明視野絞りを照明することになり、リレー光学系は照明視野絞りの開口部（光透過部）の像をマスクM上に形成することになる。

【0096】

また、上述の実施形態では、露光光としてKrFエキシマレーザ光（波長：248nm）やArFエキシマレーザ光（波長：193nm）を用いているが、これに限定されることなく、他の適当なレーザ光源、たとえば波長157nmのレーザ光を供給するF₂レーザ光源や、レーザ光源以外の光源、例えばi線やg線、h線等の紫外光を供給するランプ光源に対して本発明を適用することもできる。さらに、上述の実施形態では、照明光学装置を備えた投影露光装置を例にとって本発明を説明したが、マスク以外の被照射面を照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することができることは明らかである。

【0097】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の照明光学装置では、たとえば1/2波長板とデ

ポラライザ（非偏光化素子）とからなる偏光状態切換手段の作用により、被照射面を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることができる。したがって、たとえば露光装置に本発明の照明光学装置を搭載した場合、マスクのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させて適切な照明条件を実現することができる。

【0098】

また、本発明の照明光学装置を用いる露光装置および露光方法では、マスクMのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させて適切な照明条件を実現することができるので、マスクMのパターン特性に応じて実現された適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができ、ひいては高いスループットで良好なデバイスを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】

輪帯照明および4極照明において形成される輪帯状の二次光源および4極状の二次光源を示す図である。

【図3】

2極照明において形成される2極状の二次光源を示す図である。

【図4】

図1の位相部材およびデポラライザの構成を概略的に示す図である。

【図5】

第1変形例にかかる偏光状態切換手段の構成を概略的に示す図である。

【図6】

第2変形例にかかる偏光状態切換手段の構成を概略的に示す図である。

【図7】

第3変形例にかかる偏光状態切換手段の構成を概略的に示す図である。

【図8】

変形例にかかるデポラライザの構成を概略的に示す図である。

【図9】

図1において光源と偏光状態切換手段との間に配置されるビームマッチングユニットの内部構成を概略的に示す図である。

【図10】

萤石の結晶方位について説明する図である。

【図11】

偏光状態切換手段において橙円偏光を直線偏光に変換するための1/4波長板を付設した例を概略的に示す図である。

【図12】

マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

【図13】

マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

【符号の説明】

- 1 レーザ光源
- 4 回折光学素子（オプティカルインテグレータ）
- 5 アフォーカルズームレンズ
- 6, 60~63 回折光学素子
- 7 ズームレンズ
- 8 マイクロレンズアレイ（フライアイレンズ）
- 9 コンデンサー光学系
- 10 位相部材（1/2波長板）
- 20, 21 デポラライザ
- 20a 水晶プリズム
- 20b 石英プリズム
- 21a 偏光ビームスプリッター
- M マスク

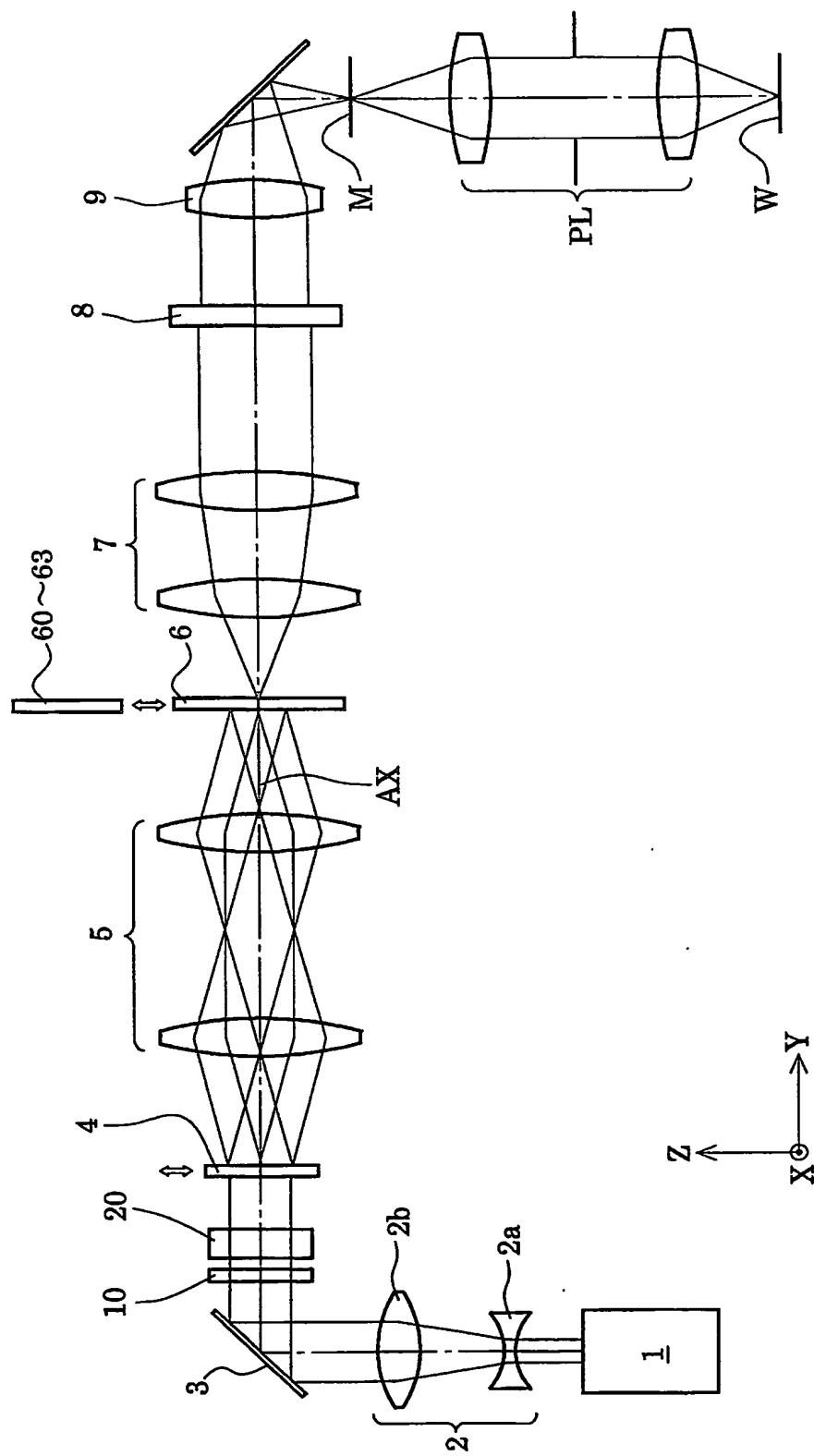
P L 投影光学系

W ウエハ

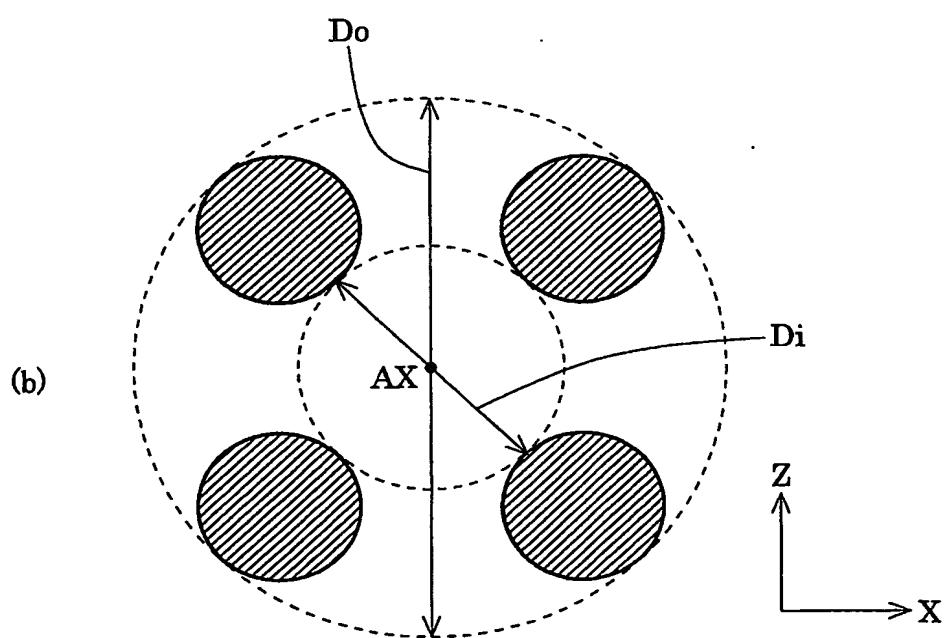
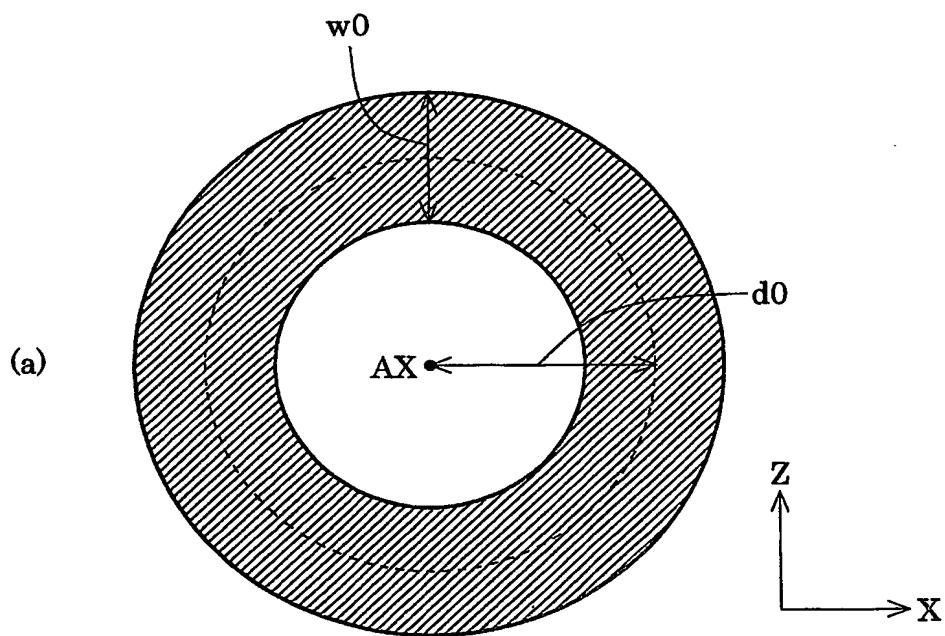
【書類名】

図面

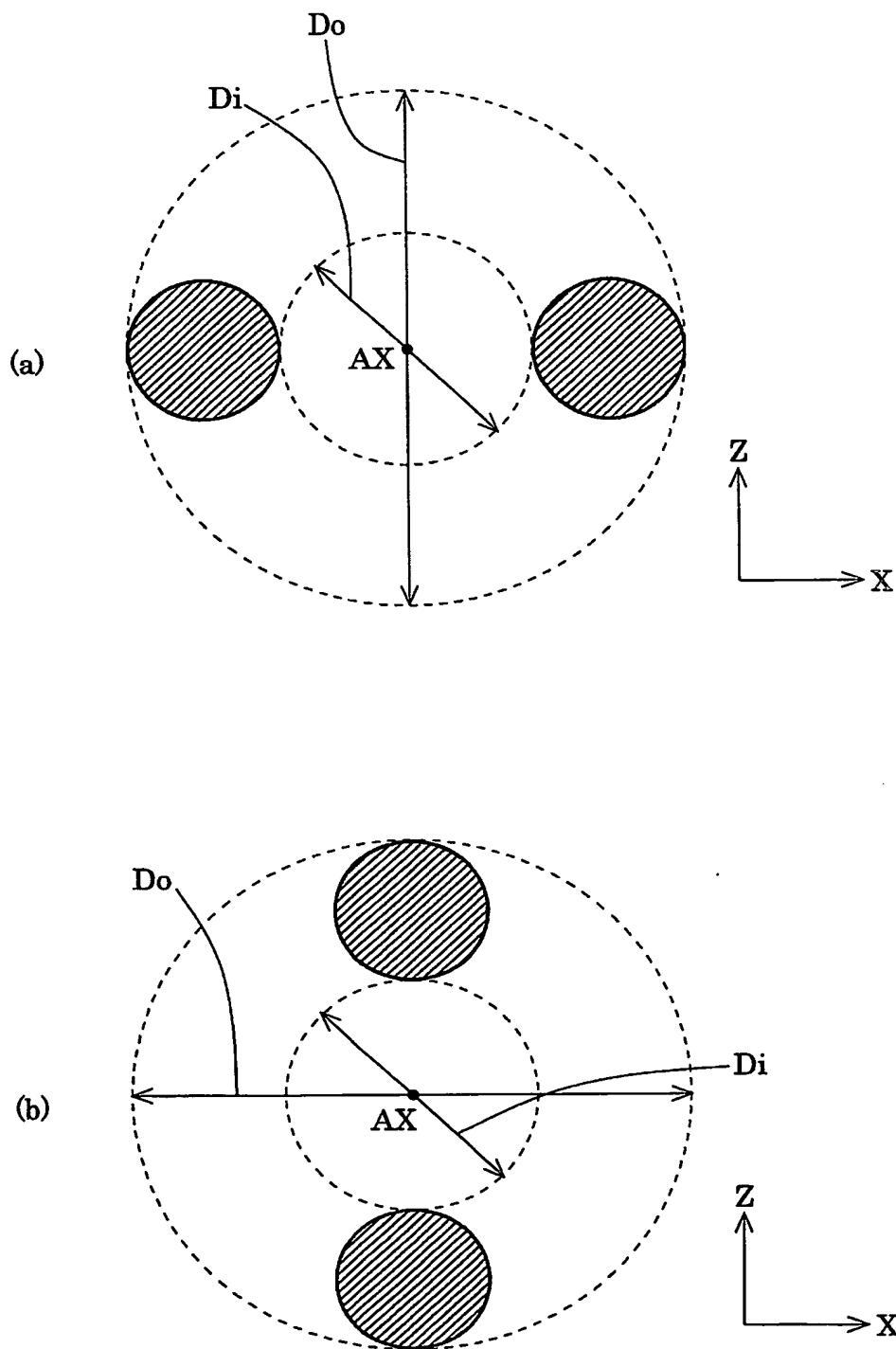
【図1】



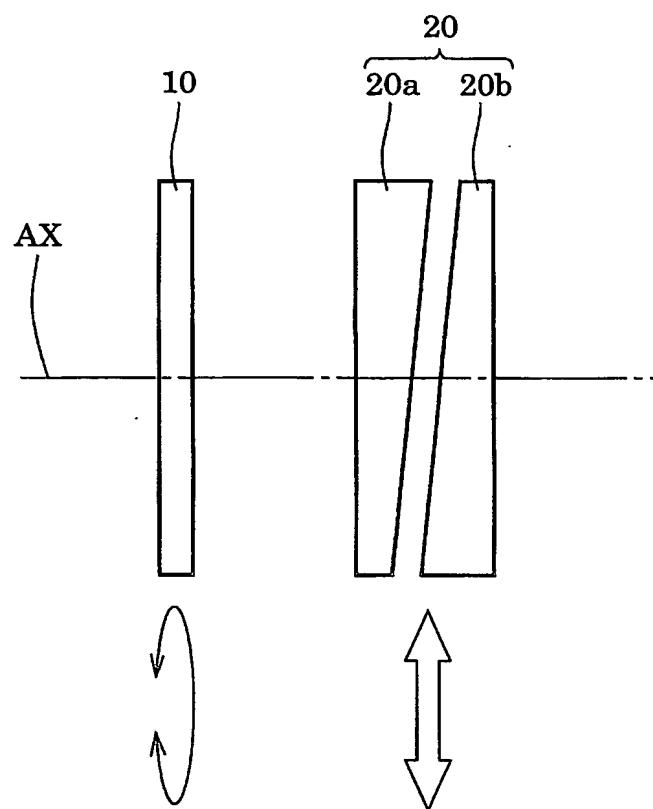
【図 2】



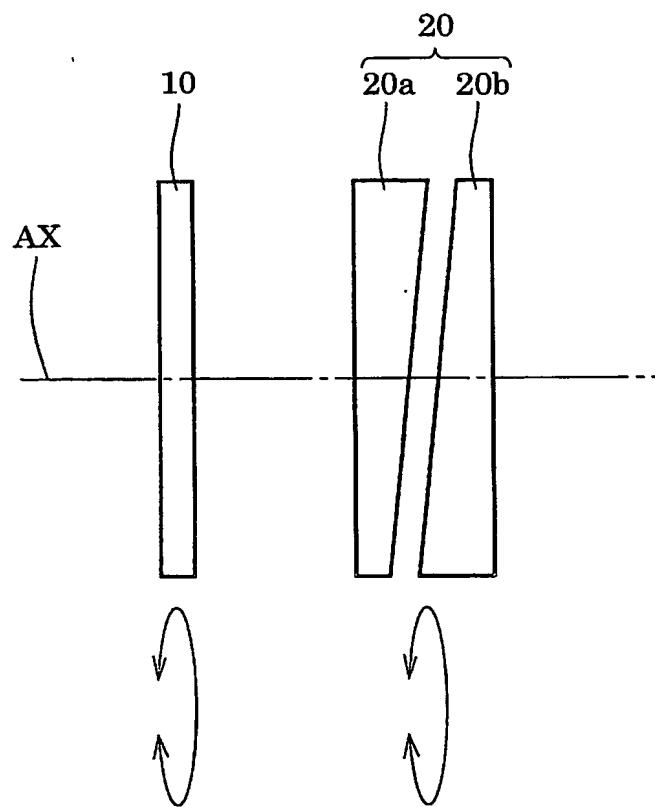
【図3】



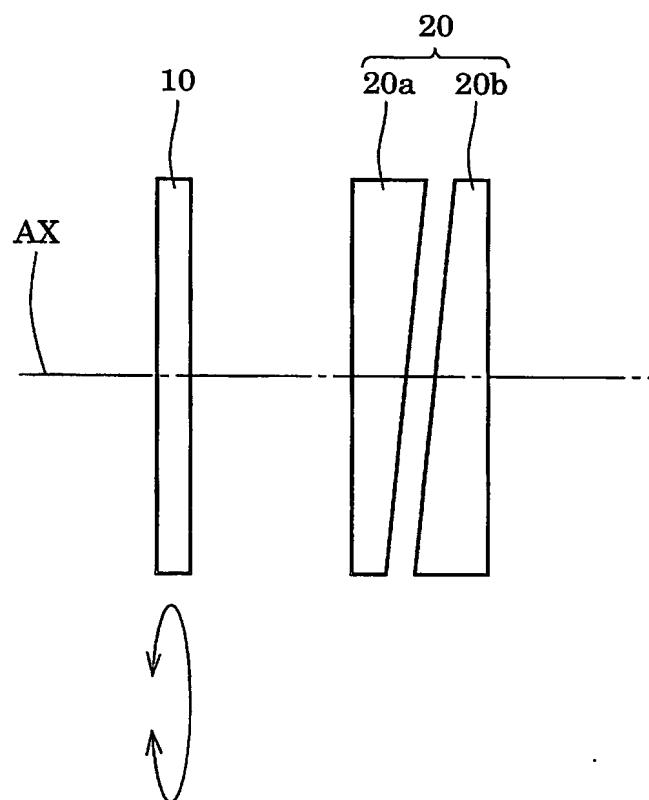
【図4】



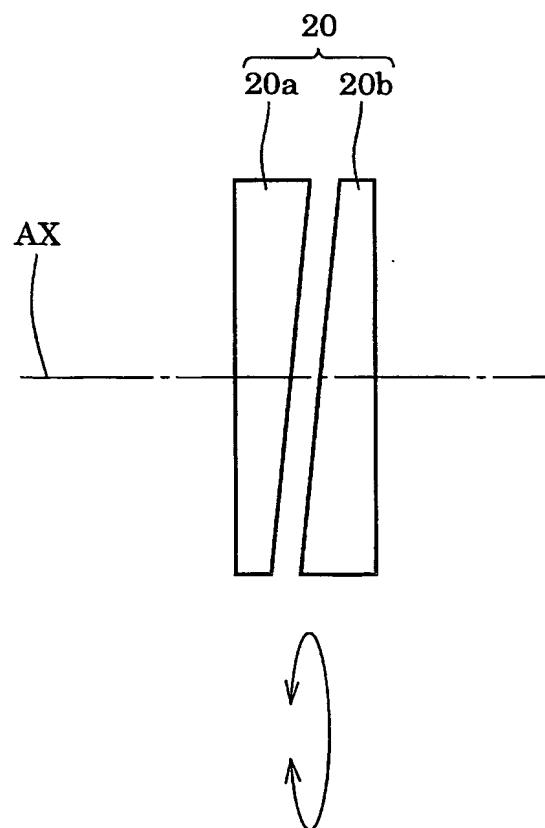
【図5】



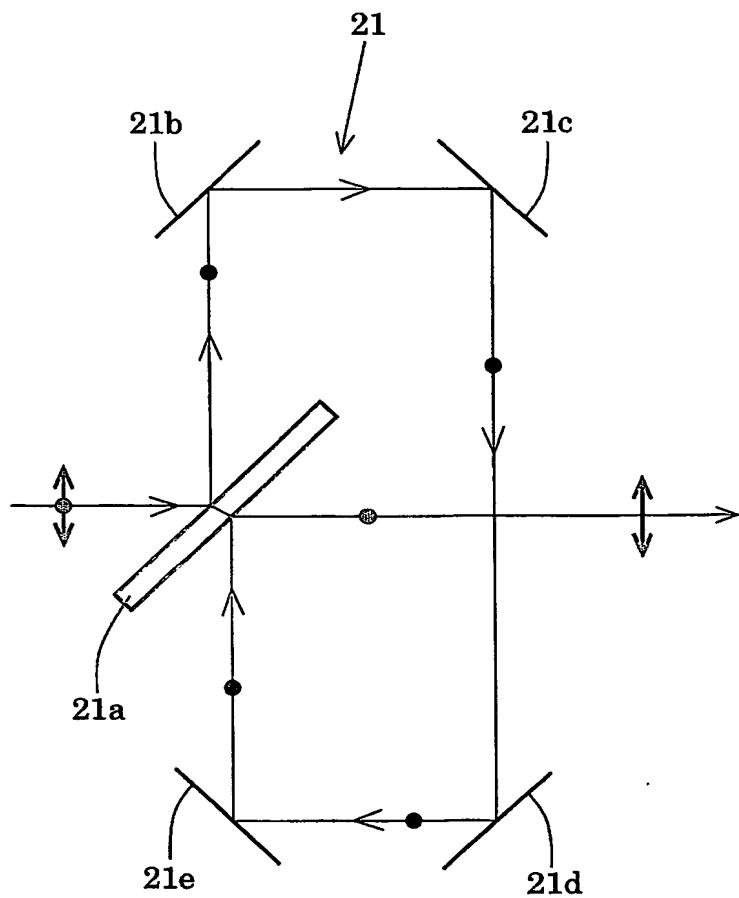
【図6】



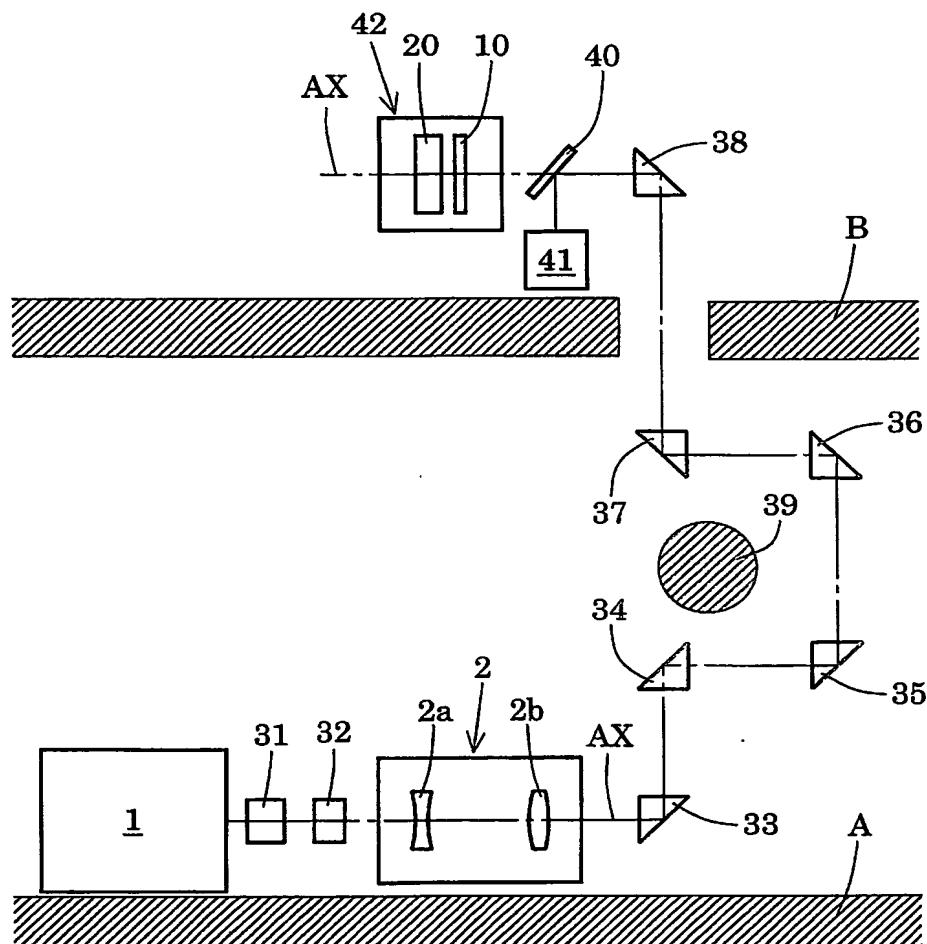
【図 7】



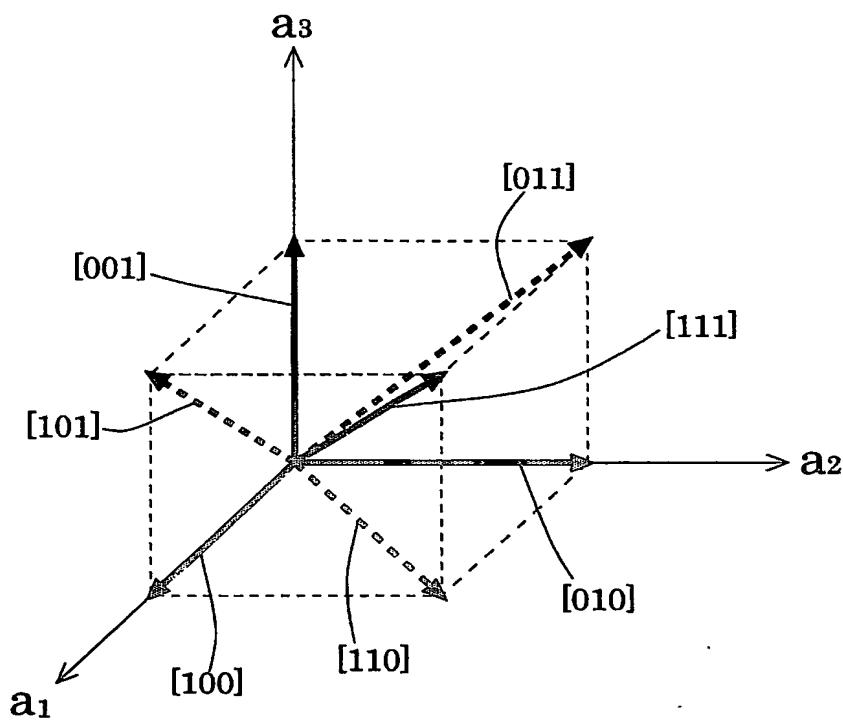
【図8】



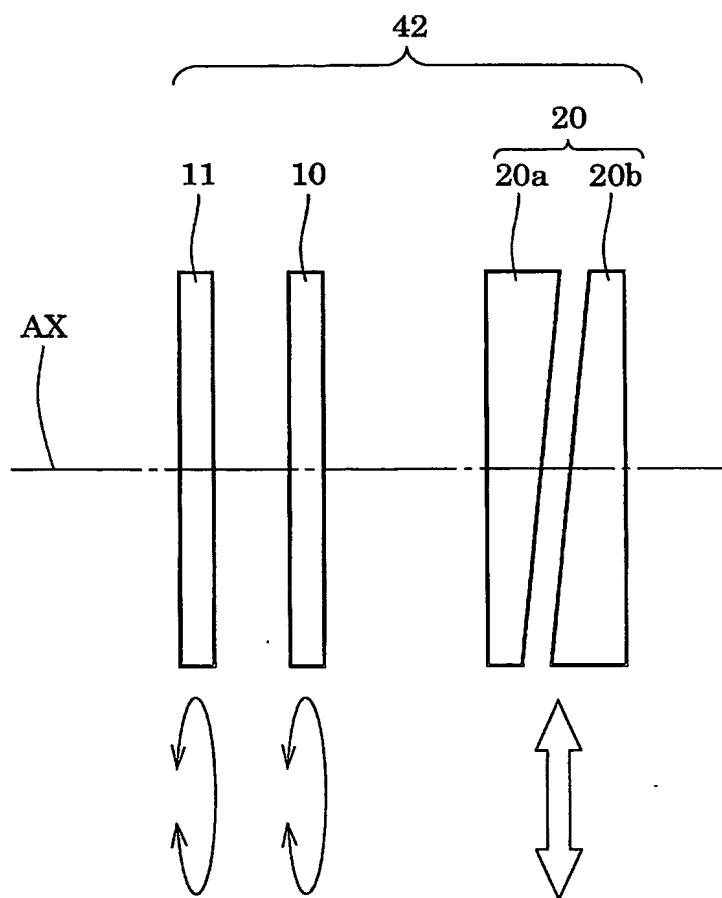
【図9】



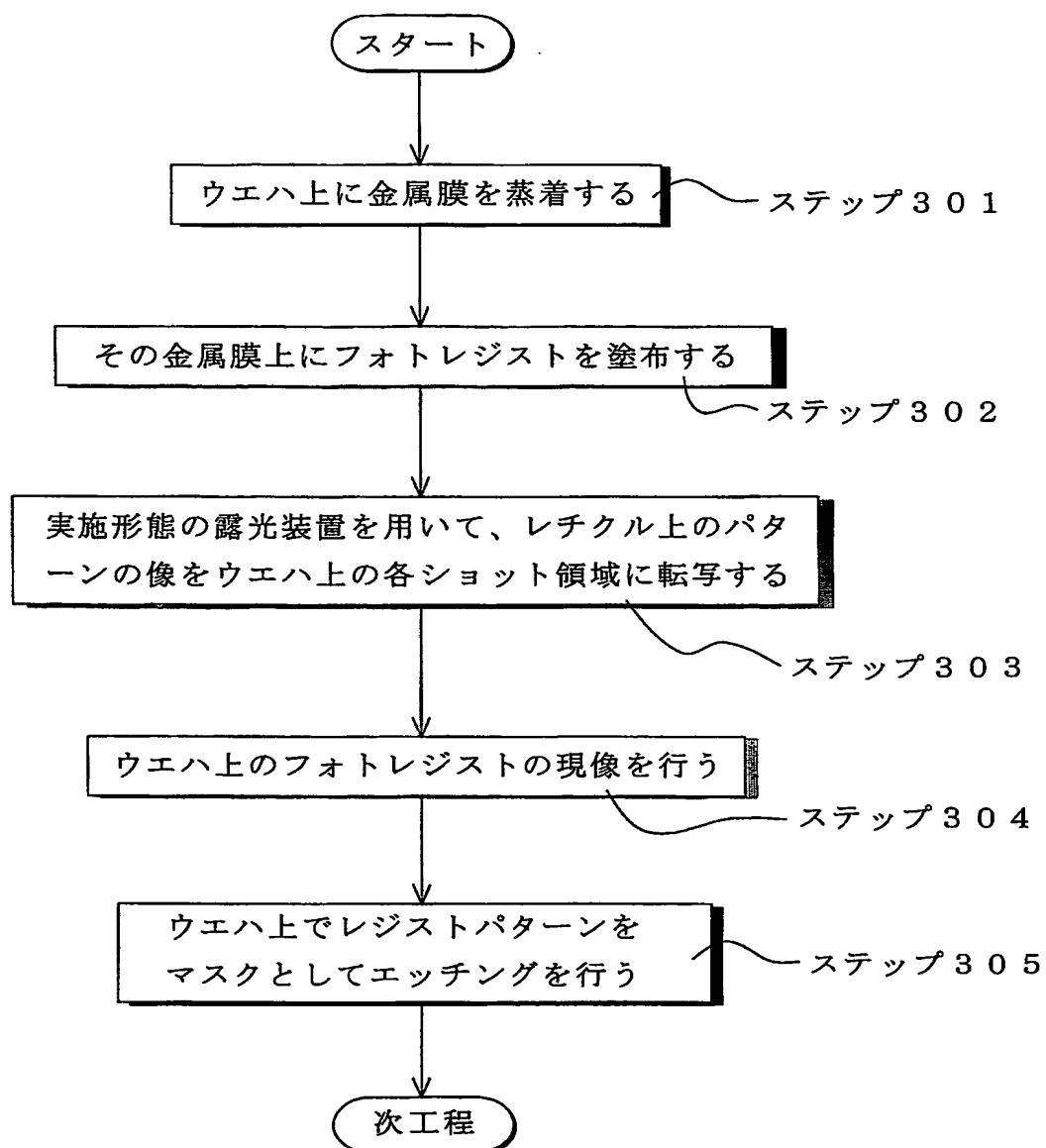
【図10】



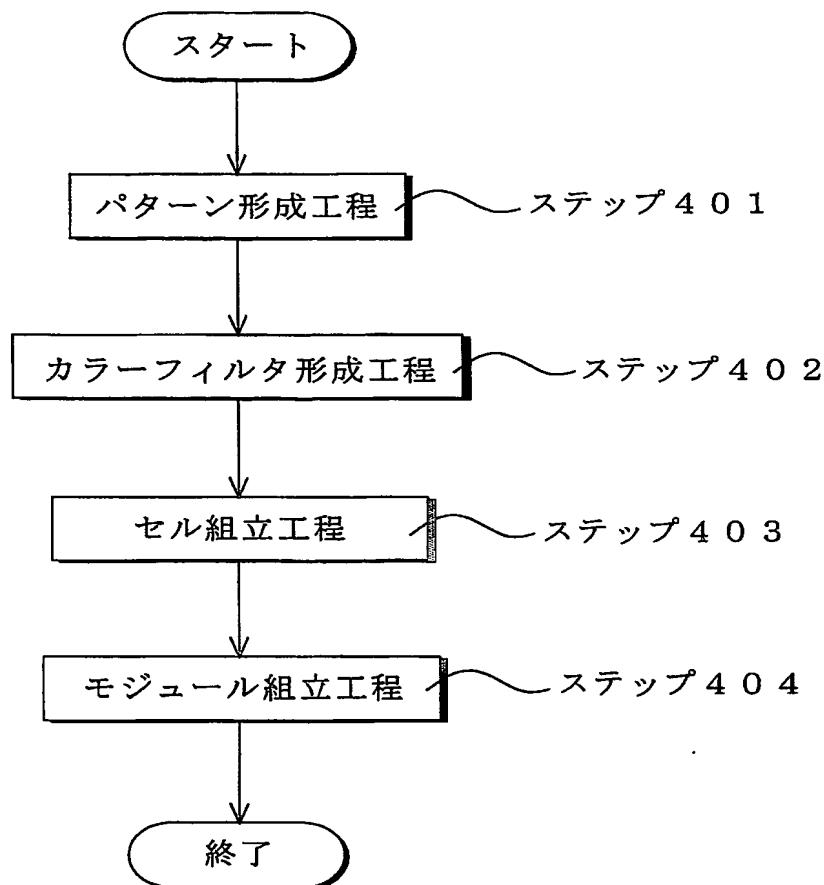
【図 11】



【図12】



【図13】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 たとえば露光装置に搭載された場合に、マスクのパターン特性に応じて照明光の偏光状態を変化させて適切な照明条件を実現することのできる照明光学装置。

【解決手段】 直線偏光の光を供給する光源部（1）を有し、光源部からの光で被照射面（M, W）を照明する照明光学装置。光源部と被照射面との間の光路中に配置されて、被照射面を照明する光の偏光状態を直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えるための偏光状態切換手段（10, 20）を備えている。偏光状態切換手段は、入射する直線偏光の光の偏光面を必要に応じて変化させるための位相部材（10）と、入射する直線偏光の光を必要に応じて非偏光化するためのデポラライザ（20）とを有する。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2003-201079
受付番号	50301222833
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成15年 7月29日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成15年 7月24日
-------	-------------

特願 2003-201079

出願人履歴情報

識別番号 [000004112]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住所 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
氏名 株式会社ニコン